
L'acquisition 3D par photogrammétrie en archéologie

Mehdi Belarbi, Pascal Raymond, Nicolas Saulière et Régis Touquet



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/archeopages/415>

DOI : 10.4000/archeopages.415

ISSN : 2269-9872

Éditeur

INRAP - Institut national de recherches archéologiques préventives

Édition imprimée

Date de publication : 1 février 2012

Pagination : 90-91

ISSN : 1622-8545

Référence électronique

Mehdi Belarbi, Pascal Raymond, Nicolas Saulière et Régis Touquet, « L'acquisition 3D par photogrammétrie en archéologie », *Archéopages* [En ligne], 34 | 07/2012, mis en ligne le 01 juillet 2012, consulté le 02 juin 2021. URL : <http://journals.openedition.org/archeopages/415> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/archeopages.415>

L'acquisition 3D par photogrammétrie en archéologie

Mehdi Belarbi, Pascal Raymond, Nicolas Saulière, Régis Touquet, *Inrap*

Le relevé archéologique

Le relevé a pour fonction la figuration d'une réalité conditionnée par la perception qu'en a son auteur et par sa maîtrise des techniques de transcription. La mise à plat d'un relief suppose des connaissances en géométrie et un matériel de mesure adapté pour limiter les erreurs de proportions. Les illustrations ainsi produites sont pertinentes si elles sont géométriquement fiables. Pour que la restitution soit fidèle au vestige, une part de la subjectivité doit donc être compensée par des moyens de mesure adaptés. Ils assurent ainsi l'objectivité par la prise de références ou de valeurs témoins contrôlables. L'acquisition 3D est un moyen d'enregistrement de formes irrégulières ou complexes. Le relevé en 3D de certains types de sites (très stratifiés, structures au relief accidenté, architecture monumentale ou vernaculaire) préserve leur géométrie. Ces relevés contribuent à la documentation scientifique sous la forme de vues fixes. En effet, les modes de diffusion de l'information s'inscrivent principalement dans un schéma classique qui nous conduit à envisager les illustrations finales en 2D. La modélisation facilite considérablement ce travail de restitution des observations. Elle autorise les vues cavalières, les axonométries et surtout les vues géométrales qui correspondent à nos codes de représentation.

La topographie permet d'effectuer ces opérations en enregistrant une information succincte selon des formes géométriques simplifiées. Dans certains cas, elle sert de cadre pour repositionner des photos redressées afin de fournir des vues ortho-rectifiées. Toutefois, cette solution n'est pas idéale dans les situations où les reliefs sont trop prononcés et les modénatures trop riches. Pour ces catégories de vestiges, l'acquisition 3D, avec des nuages de points à haute densité, permet de révéler les volumes avec exactitude. Des outils comme les scanners 3D offrent cette possibilité. Cependant, leurs prix et les contraintes de leurs mises en place rendent leur utilisation rare et ce matériel ne concerne, de ce fait, que des vestiges exceptionnels. La nécessité de justesse dans les relevés ne pouvant se limiter qu'aux seuls éléments remarquables, nous avons maintenu une veille technologique qui a conduit au test de plusieurs solutions. Parmi les outils de mesure se sont développées des solutions logicielles permettant l'acquisition en 3D par photogrammétrie : les logiciels libres Bundler¹, PMVS, CMVS² et Meshlab³ ont servi depuis un an à réaliser des acquisitions 3D à haute densité de points.

La photogrammétrie

L'acquisition 3D par photogrammétrie est basée sur une technique qui consiste à effectuer des mesures dans une scène, en utilisant la parallaxe

obtenue entre des images acquises selon des points de vue différents⁴. Comme les autres outils de mesure, cette méthode possède une marge d'erreur et une plage d'utilisation qui déterminent sa qualité. En effet, l'incertitude d'un système et sa résolution doivent être prises en compte lors d'un relevé. Ils correspondent à la perte d'information acceptable pour un sujet donné. Lorsqu'elle n'est pas contrôlée, par manque de moyen ou de formation de l'opérateur, cette perte non quantifiable s'avère irréversible, notamment en raison de l'action partiellement ou totalement destructrice de la fouille. Les vestiges peuvent, par un relevé 3D, être documentés de façon plus exhaustive. Cependant, la finesse et l'exactitude de ces documents doivent s'adapter aux dimensions et au niveau de détail des éléments traités.

L'exactitude et la pertinence de cette méthode ont été testées depuis plus d'un an à l'Inrap en Île-de-France. Dans des conditions équivalentes à celles rencontrées sur le terrain, une surface de test a été modélisée grâce à dix photographies prises à un mètre du sujet. Elle couvre une superficie 1,3 m², qui correspond par exemple à la dimension d'une sépulture. Le résultat obtenu nous donne une justesse à $\pm 0,3$ mm. La fidélité du résultat est quant à elle de 39×10^{-5} mm⁵. Ainsi, ces valeurs comparées à la taille du pixel des clichés ramenés à 2 400 x 1 600 dpi donnent une incertitude inférieure à la taille du pixel. Dans ce cas, les valeurs mesurées offrent un résultat qui peut être considéré comme juste et fidèle par rapport à la référence. Ces réalisations, d'une qualité qui ne peut être atteinte avec une méthode traditionnelle, nous incitent donc à poursuivre notre démarche.

La 3D comme documentation scientifique

Comme pour le mobilier, la modélisation de structure facilite la réalisation de vues ortho-rectifiées et permet des figurations en fonction des propriétés géométriques de leur surface. Toutefois, pour que ce travail corresponde à la réalité, le MNS⁶ doit être mis à l'échelle et orienté. Ce référencement du modèle 3D impose de faire figurer sur les photographies un repère mesurable comme une mire ou un élément remarquable dont on connaît la dimension. Pour une structure, le simple redimensionnement ne suffit plus, la modélisation doit également être orientée par rapport à un système de projection. Il est alors indispensable, dans ce cas, de coupler les relevés 3D avec des points d'amer issus d'un levé topographique. Ce travail adapté au terrain présente plusieurs atouts. Il permet des enregistrements de sujets difficilement accessibles ou potentiellement dangereux comme les façades de bâtiment ou de grandes coupes. Il est particulièrement approprié dans des contextes urbains et stratifiés où la restitution impose de représenter des profils avec des variations altimétriques parfois importantes. La photogrammétrie offre alors la possibilité de compiler sur un même document un ensemble de structures sur un niveau déterminé, ou un état

1. Logiciel écrit par Noah Snavely (<http://phototour.cs.washington.edu/bundler/>).

2. Logiciel écrit par Yasutaka Furukawa (<http://grail.cs.washington.edu/software/cmvs/>).

3. Logiciel *open source* (<http://meshlab.sourceforge.net/>).

4. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Photogrammétrie>.

5. La documentation est trop longue pour être développée ici mais le protocole de mesure et les résultats sont disponibles sur demande aux auteurs.

6. MNS : Modèle Numérique de Surface. Dans ce cas, il correspond à un maillage constitué de TIN (*Triangular Irregular Network*), calculé à partir du nuage de points de haute densité.

de la fouille à un moment donné. La souplesse et le faible investissement de la méthode permettent d'envisager plusieurs relevés par opération. Ils ont pour fonction leur mise à plat afin d'en extraire des plans et des coupes, mais ils peuvent également servir de support à la mémoire. Cette fonction est loin d'être négligeable dans ces contextes où l'enchevêtrement des faits rend leurs lectures difficiles. Comme pour le passage du noir et blanc à la couleur ou de l'argentique au numérique, la 3D constitue une nouvelle étape dans l'évolution de la documentation. Elle n'a pas pour vocation d'être systématiquement publiée sur papier et peut servir d'archive. La 3D est alors conservable et transmissible sous des formats qui autorisent sa manipulation à des degrés plus ou moins avancés.

Cette expérimentation montre que la 3D peut s'inscrire dans la chaîne graphique et donner un aperçu du potentiel analytique qui en découle. L'acquisition 3D par photogrammétrie s'est révélée souple et adaptée à notre activité⁷. De tous les systèmes de numérisation, l'acquisition 3D par photogrammétrie se révèle la solution couplant le coût d'exploitation le plus faible avec la plage d'utilisation la plus large. Sa limite n'est conditionnée que par les capacités optiques des appareils photographiques, notamment pour les vues rapprochées. Toutefois, cette technique correspond à un mode de relevé qui peut être complété, pour les petites surfaces, par d'autres systèmes d'acquisitions 3D comme les scanners. Ainsi, la photogrammétrie associée au scanner manuel permet de réaliser l'ensemble des numérisations allant du petit mobilier jusqu'à l'échelle du chantier.

Les modélisations 3D sont à la base de l'analyse du relief par des fonctions mathématiques qui permettent d'en révéler les anomalies. Elles constituent une réplique virtuelle qui supporte tout type d'interventions sans mettre en danger le matériel original. Elles permettent les simulations physiques ou mécaniques sur des vestiges afin d'en dévoiler le fonctionnement, la façon dont ils ont été détruits ou dont ils ont résisté à leur environnement. Toutefois, ces approches supposent un changement de culture de notre part. Concevoir ou envisager notre réflexion en 3D est un processus intellectuel qui nous fait basculer du concept d'empilement vers celui d'emboîtement. Le potentiel d'exploitation en archéologie est loin d'avoir été totalement exploré et se rapprocher de l'univers de l'ingénierie permettrait de mieux l'appréhender.

L'illustration archéologique est porteuse d'informations que les spécialistes savent décrypter mais elle est difficilement exportable telle quelle hors de la communauté scientifique. La représentation des faits par le dessin répondait jusqu'ici à une nécessité imposée par le mode de transmission de l'information qui était exclusivement produit sur des supports de communication en 2D. Pour s'adapter à ce format, le fait archéologique était traduit dans un langage graphique qui devait

être connu à la fois par son auteur et par le lecteur. Ce mode de figuration ne permettait alors pas le partage de ces données en direction d'un large public. Les modèles numériques ne doivent donc pas servir uniquement à fournir des vues fixes. L'informatique et les modes de diffusion qui y sont associés doivent permettre de conserver et diffuser cette documentation sans perte de qualité. Elle pourra être ainsi consultable et surtout manipulable pour que chacun puisse se faire sa propre opinion sur les éléments modélisés.

Les modèles numériques sont perçus simplement comme des moulages ou des maquettes et permettent de s'affranchir des conventions de représentation. La 3D est comprise par tous de façon intuitive en faisant appel à un sens inné et non pas à un acquis culturel : dès qu'un modèle s'anime, en suivant un scénario ou les manipulations d'un observateur, son volume est immédiatement appréhendé. Ce type de relevé représente dès lors un potentiel de diffusion plus large, aussi bien scientifique que grand public.

Références bibliographiques

- ADROT D., à paraître, « *La Grande Pièce/la Rangée/les Rues de Marne/Près le Moulin Saint Faron/les Oudelains/les Grandes Malsanges* » à Citry (77), Rapport de diagnostic, Inrap.
 MONDOLONI A., à paraître, « *Le derrière des Moulins* » à Mours (95), Rapport final d'opération, Inrap.
 SARON E., à paraître, « *Carrière* » à Ballancourt (91), Rapport de diagnostic, Inrap.

Deux exemples de modélisation en 3D de sites urbains

Mehdi Belarbi, Inrap

L'enceinte de Philippe Auguste à Paris

En 2010, une première intervention dans une cour de l'Hôtel des Monnaies, quai de Conti, a mis au jour la face interne de l'enceinte de Philippe Auguste sur une profondeur de 4 m⁸. Un deuxième diagnostic, réalisé en 2011, dans la même cour, a dégagé le parement externe de cette enceinte sur une hauteur identique⁹. L'acquisition 3D par photogrammétrie testée à l'Inrap a permis de modéliser la maçonnerie découverte lors de cette deuxième intervention.

La numérisation a, dans ce contexte, de nombreux avantages. La fouille en puits blindé, effectuée par des puisatiers, ne permet pas une observation globale de la stratigraphie qui est masquée par les boisages mis en place au fur et à mesure du terrassement. Les étalements, indispensables à la sécurité, sont également des obstacles à l'examen des parois. La 3D facilite la réalisation de relevés globaux débarrassés des éléments techniques qui en perturbe la lecture et fournit une documentation qui autorise une étude architecturale [III. 1]. De plus, parce que les photographies numériques prises par le responsable d'opération, lors du premier

7. La méthode est optimisée si l'on utilise des focales courtes, des drones et des microprocesseurs puissants permettant des calculs rapides.

8. Responsable d'opération Paul Celly, Inrap, 2011.

9. Diagnostic Paul Celly, Inrap, 2010 et 2011.